

C. GUICHOU*

J. BARRERA**

SUMÁRIO

A extração automática de parâmetros geométricos nas imagens digitais não é geralmente realizável num único passo. A abordagem da Morfologia Matemática consiste numa modificação progressiva da imagem antes da fase de medição. São apresentadas transformações morfológicas básicas (baseadas no conceito da erosão) e um exemplo de obtenção de um atributo de forma, o perímetro.

ABSTRACT

Automatic extration of geometrical parameters in digital images is not usually achieved in a unic step. The Mathematical Morphology approach consists in a progressive modification of the image before the measuring stage. Morphological basic transformation (based upon the concept of erosion) and an example of shape feature determination, the perimeter, are presented.

* Doutor de Terceiro Ciclo em "Astronomia e Técnicas Espaciais" (Universidade Paul Sabatier, Toulouse, França); Cooperante francês no INPE-Instituto de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515, São José dos Campos-SP, CEP 12200.

** Engenheiro Eletricista (Politécnica, USP, 1983); Assistente de Pesquisa no INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais, Caixa Postal 515, São José dos Campos-SP, CEP 12200.

INTRODUÇÃO

A análise de imagens ocupa uma parte importante na área de visão por computador. Distinta da fase de pré-processamento, que geralmente envolve operações lineares (filtragem, convolução), e das técnicas de classificação que usam regras de decisão estatísticas, a análise de imagens (Serra, 1982) se apoia na geometria integral (Kendall and Moran, 1963; Santaló, 1976 e Matheron, 1975) e na álgebra booleana para alcançar os seguintes objetivos:

- 1) extração dos parâmetros quantitativos das zonas interessantes da imagem (sejam topológicos, tais como o número de conectividade, ou medidas individuais relativas a cada partícula, isto é, superfície, perímetro, etc.);
- 2) extração de zonas da imagem que possuem parâmetros característicos, principalmente atributos de forma.

As aplicações dessas técnicas já são operacionais em várias áreas: imagens microscópicas de medicina (Preuteux, 1984; Beucher, 1984), de metalografia (Serra, 1968) e recentemente de visão robótica, de acordo com Sternberg, 1982 (apud Serra, 1983).

Na Morfologia Matemática (Serra, 1982), os objetos que compõem a imagem E são percebidos como subconjuntos do conjunto $P(E)$ das partes de E . Geralmente, em processamento de imagens, E é incluído em $\mathbb{R}^2$, mas pode ser em $\mathbb{R}^3$ (volumes), e $\mathbb{R}^1$, ou, utilizando níveis de cinza, em $\mathbb{R}^{n+1}$, onde a tonalidade é então considerada como uma dimensão suplementar. As leis que governam a percepção visual, como por exemplo: "o objeto X_1 ficando atrás do objeto maior X_2 é invisível" são as leis de interseção ($\cap$) e da união ($\cup$). Esta observação simples, devida à opacidade da maioria dos objetos, justifica um princípio fundamental na análise de imagens: as operações aritméticas (+, -, x), de uso comum no processamento de sinais, são trocadas pelas operações algébricas ($\cap$ e $\cup$).

A não-linearidade que caracteriza a visão humana e a morfologia implica numa redução da informação a ser analisada em três fases:

- 1) redução do campo de investigação;
- 2) redução espectral que passa de uma imagem em níveis de cinza a uma imagem binária;
- 3) simplificação da imagem que aplica transformações morfológicas esquematizando a estrutura dos objetos a serem descritos.

No quadro da Morfologia Matemática, a visão de um objeto é percebida através da eliminação de todos os outros (Guichou, 1985). A metodologia consiste na supressão progressiva da informação irrelevante a partir de sequências de transformações.

A seguir serão apresentadas transformações fundamentais e exemplo de aplicação.

2 - TRANSFORMAÇÕES MORFOLÓGICAS BÁSICAS

Um tratamento morfológico vai geralmente envolver dezenas de transformações. Para domi

nar o processo é necessário conhecer suas propriedades que descrevem as relações entre o objeto inicial X e o objeto transformado $\psi(X)$:

propriedade 1: quando o objeto transformado $\psi(X)$ for incluído no objeto inicial, a transformação é chamada *extensiva* (antiextensiva, no caso contrário);

propriedade 2: o *crescimento* caracteriza as transformações que respeitaram a hierarquia da inclusão, por analogia às funções crescentes:

$$\psi \text{ é crescente } \iff X \subset Y \implies \psi(X) \subset \psi(Y).$$

As transformações morfológicas são baseadas na ação de um elemento estruturante, ou seja, um conjunto de "pixels" ligados a uma origem O , que se comporta como uma sonda através da imagem E . A configuração-padrão do elemento estruturante é comparada com a configuração local. O valor no ponto central O é modificado em função da composição da vizinhança.

A imagem-teste (Figura 1) que foi escolhida representa um corte transversal de fibras de eucalipto com uma ampliação de 400 vezes. Na Figura 2 a imagem já está binarizada, a partir de um processo de "fatiamento" dos níveis de cinza.

2.1 - EROSAO

No espaço euclidiano, a erosão denotada $\ominus$ elimina todas as partes do conjunto X que não podem incluir um elemento estruturante B .

2.1.1 - PROCEDIMENTO DE OBTENÇÃO

A erosão transforma todos os "pixels" do objeto, que não possuem a vizinhança padrão B , em fundo da imagem (Figura 3):

$$B_1 = \begin{matrix} 111 \\ 111 \\ 111 \end{matrix}, \text{ no caso de uma trama quadrada,}$$

$$B_2 = \begin{matrix} & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ & 1 & 1 \end{matrix}, \text{ no caso de uma trama hexagonal.}$$

2.1.2 - PROPRIEDADES

A erosão é crescente e antiextensiva, pois o conjunto $X \ominus B$ está incluído no conjunto X .

A erosão é uma transformação que participa da eliminação dos artefatos da imagem.

Existe uma propriedade muito interessante relativa à iteratividade:

$$X \ominus nB = \underbrace{X \ominus B \ominus B \dots \ominus B}_{n \text{ vezes}}; \text{ onde } n \text{ é o raio do elemento estruturante.}$$

$$\text{Ex.: } B = \text{vizinhança } 3 \times 3: n = 1,$$

$$B = \text{vizinhança } 5 \times 5: n = 2.$$

Por exemplo, uma erosão por um elemento estruturante 5×5 pode ser obtida a partir de duas erosões consecutivas por elemento estruturante 3×3 . É então possível fazer erosões de um elemento estruturante de um tamanho qualquer nB , a partir do elemento estruturante $B = 3 \times 3$.

2.2 - DILATAÇÃO

No espaço euclidiano, a dilatação denotada por $\oplus$ preenche os buracos (pontos "0") menos que o elemento estruturante B .

2.2.1 - PROCEDIMENTO DE OBTENÇÃO

A dilatação transforma em "1" os pontos do fundo que possuem algum "pixel" "1" na vizinhança deles (Figura 4).

2.2.2 - PROPRIEDADES

A dilatação é crescente e extensiva, i.e., $X \oplus B$ inclui o conjunto X . Ela é a transformação dual da erosão: a dilatação de um objeto X é o complemento da erosão do complemento de X^c :

$$X \oplus B = (X^c \ominus B)^c.$$

2.3 - ABERTURA

A abertura do conjunto X , denotada X^B , consiste numa erosão seguida de uma dilatação, corta "cabos" e elimina "ilhas" menores que o elemento estruturante B (Figura 5).

A abertura é crescente, antiextensiva e *idempotente*. Esta última propriedade é um passo importante de uma sequência de transformações morfológicas, ou seja, a abertura realiza uma filtragem de partículas sem precisar de análise individual. Com sistemas especializados, esta operação é feita em tempo real. As aberturas com elemento estruturante de dimensão $1B$, $2B$, ... nB podem fornecer um método rápido para a obtenção de distribuições do tamanho das partículas (Serra, 1982).

2.4 - FECHAMENTO

Um fechamento, notado X_B , é a combinação de uma dilatação seguida de uma erosão. Esta operação é a dual da abertura. O efeito euclidiano é o preenchimento dos "lagos", "golfos" e "estreitos" menores que o elemento estruturante B (Figura 6).

As transformações apresentadas acima operam em paralelo em toda a cena. No processo de análise de imagens, o objetivo é geralmente a medição de características geométricas (superfície, perímetro, corda, etc.) relativas às partículas. Para isto, é necessário individualizar as componentes convexas. O terceiro capítulo enfoca a obtenção da fórmula de um dos possíveis parâmetros, isto é, o perímetro e seus algoritmos correspondentes no quadro da Morfologia Matemática.

3 - EXEMPLO DE MEDIDA: PERÍMETRO

3.1 - DEFINIÇÃO

O valor exato do perímetro $U(X)$ de um objeto X convexo é obtido a partir da integração da projeção $D(X, \alpha)$ sobre uma reta $\Delta\alpha$, α variando de 0 a 2π . O perímetro é o valor médio de $D(X, \alpha)$ multiplicado por π (relação de Cauchy):

$$U(X) = \pi \times \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} D(X, \alpha) d\alpha.$$

A fórmula de Crofton mostra que o valor do perímetro $U(X)$ pode ser aproximado usando um número de ângulos N , não-infinito, que varia de 0 a π :

$$U(X) \approx \pi \times \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N D(X, \alpha_n).$$

No caso digital, o valor da projeção $D(X, \alpha_n)$ não é uma grandeza contínua, mas um múltiplo da distância de amostragem α .

3.2 - ALGORITMOS DO PERÍMETRO

Usando a fórmula de Crofton, a digitalização do perímetro resulta da discretização das projeções $D(X, \alpha)$ e do número limitado de retas de projeção de 0 a 2π :

1) Trama quadrada:

A estimativa do perímetro é o valor médio das projeções $D(X, \alpha)$ sobre as retas $\alpha = 0$, $\alpha = 45$, $\alpha = 90$ e $\alpha = 135$. O perímetro é então obtido a partir da fórmula a seguir:

$$U(X) = \alpha [N(0^\circ) + N(45^\circ)] + \alpha \sqrt{2} [N(90^\circ) + N(135^\circ)].$$

2) Trama hexagonal:

Conforme a fórmula de Crofton já mencionada, o perímetro é deduzido a partir do valor médio das projeções sobre os três eixos principais do hexágono ($\alpha = 0^\circ, 60^\circ, 120^\circ$). A expressão do perímetro é:

$$U(X) = \frac{\pi \alpha}{2\sqrt{3}} [N(0^\circ) + N(60^\circ) + N(120^\circ)].$$

3.3 - OUTRAS APROXIMAÇÕES DO PERÍMETRO

Estas aproximações são obtidas a partir das rotinas básicas de erosão e dilatação.

O perímetro externo pode ser considerado como a área da diferença do conjunto $X \oplus B$ menos o conjunto X , (B sendo o elemento estruturante padrão):

$$U_1(X) \approx [A(X \oplus B) - A(X)].$$

O perímetro interno é aproximado a partir da área da diferença do conjunto X menos o conjunto $X \ominus B$:

$$U_2(X) = A(X) - A[X \ominus B].$$

CONCLUSÕES

Foi apresentada uma abordagem original da análise de imagens binárias computadorizadas, a Morfologia Matemática. A filosofia geral consiste na transformação dos objetos da cena para facilitar a medição de parâmetros geométricos. As aplicações industriais encon

tram-se nas áreas das imagens microscópicas, de sensoriamento remoto e, ultimamente, em visão robótica, com as potencialidades da Morfologia em níveis de cinza.

A difusão da Morfologia Matemática, cujas bases foram desenvolvidas quinze anos atrás, foi lenta até o início da presente década por causa da não-adaptação dos processadores convencionais: por exemplo, uma erosão numa imagem de 512 x 512 pontos leva em torno de 2 minutos num microcomputador EGO. Atualmente, soluções por "hard" ou por "array processor" reduzem este tempo de processamento a um décimo ou a um vigésimo de segundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEUCHER, S. Watersheds of functions and picture segmentation. Colloque Image, Gretsji Cesta, Biarritz, 1984.
- KENDALL, M.G.; MORAN, P.A.P. *Geometrical Probability*. London, Griffin, 1963.
- GUICHOU, C. Análise de imagens e morfologia matemática. São José dos Campos, INPE, 1985 (no prelo).
- MATHERON, G. *Random Sets and Integral Geometry*. New York, NY, Wiley, 1975.
- PREUTEUX, F. Détection automatisée de differents organes en coupes scanner. Colloque Image, Gretsji, Cesta, Biarritz, 1984.
- SANTALÓ, L.A. *Integral probability and geometric probability*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1976.
- SERRA, J. *Image Analysis and Mathematical Morphology*. London, Academic, 1982.
- _____. Morphologie Mathématique et g  n  se des concr  tions carbonat  es des min  raux de fer de Lorraine. *Sedimentology*: 183-208, 1968.
- _____. Images et Morphologie Math  matique. *La Recherche*, n   144: 727-748, 1983.

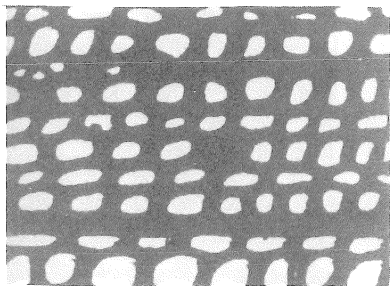


Fig. 1 - Corte transversal de fibras de eucalipto (400 x).

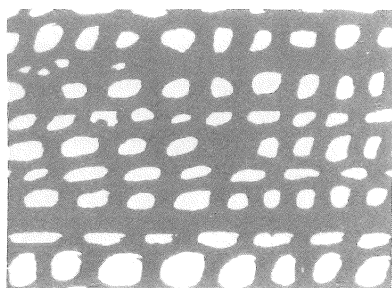


Fig. 2 - Binarização da imagem 1.

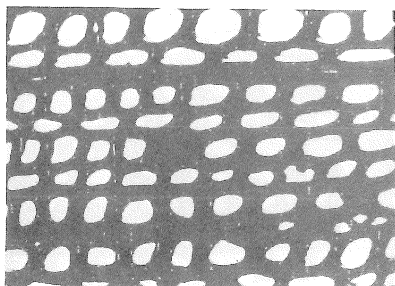


Fig. 3 - Erosão aplicada à imagem 2.

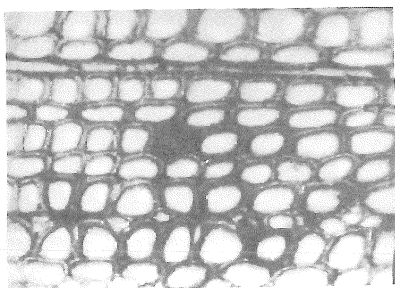


Fig. 4 - Abertura aplicada à imagem 2.

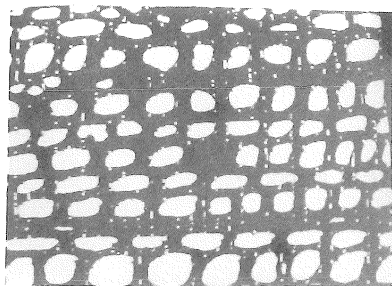


Fig. 5 - Dilatação da imagem 2.

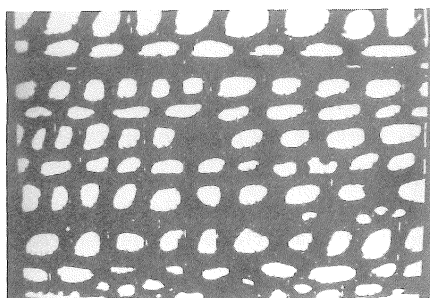


Fig. 6 - Fechamento da imagem 2.